

Г. Н. Бузук

ФИТОИНДИКАЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА: СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА**Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет**

Выполнена верификация трех способов расчета (линейной регрессии без и с нормализацией данных, а также взвешенного среднего) фитоиндикационных показателей условий среды по шкалам Д.Н. Цыганова.

Установлено, что независимо от способа расчета наблюдается однонаправленный характер связей фитоиндикационных показателей с агрохимическими характеристиками почвы, а рассчитанные коэффициенты линейной корреляции варьируют в сравнительно узких пределах. Вместе с тем, способ расчета имеет достаточно сильное влияние на общую картину распределения сосновых типов леса в экологическом пространстве при NMDS-шкалировании и последующем кластерном анализе. Наблюдается своеобразный «дрейф» координат точек типов леса в пределах определенных областей экологического пространства.

Ключевые слова: экологические шкалы, линейная регрессия, экологическое пространство, NMDS-шкалирование.

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с инструментальными методами определения условий местообитаний растений, в том числе и лекарственных, достаточно широко применяется фитоиндикационная оценка экологического пространства видов. Достоинством фитоиндикации является то, что видовой состав сообществ в силу значительной инерции отзывается на продолжительные, обобщенные, усредненные и направленные изменения экологических условий, а не их кратковременные флуктуации. На кратковременные, в течение вегетационного периода изменения условий среды, растения реагируют изменениями (флуктуациями) биомассы и ростовых параметров.

Для расчета уровня фактора применяется в основном метод взвешенного на обилие, чаще всего проективное покрытие, среднего или простого среднего, фиксируя только присутствие вида в пределах местообитания. Основной недостаток заключается в невозможности получить крайние значения шкал для экстремальных местообитаний [1-5].

Этого в значительной степени лишен предложенный нами регрессионный способ оценки режима экологических факторов местообитаний растений [6-7], который позволяет получить оценку биотопа при крайних значениях амплитудных шкал, например для сосняков багульниковых и сфагновых, и даже позволяет вы-

являть лимитирующие состав фитоценоза факторы [6-8].

Вместе с тем, в ходе более чем 10-летнего применения метода линейной регрессии для расчета экологического пространства видов с использованием диапазонных экологических шкал наблюдался выход рассчитанных фитоиндикационных показателей за границы нижнего или верхнего диапазона шкал, чаще всего в экстремальных местообитаниях. Это, по нашему мнению, связано с наличием ошибки при расчетах коэффициентов линейной регрессии, которая, как правило, не превышает 1 балла (градации фактора) экологической шкалы [7].

А. В. Жуковым была предпринята попытка усовершенствовать предложенный нами алгоритм для предотвращения выхода рассчитанных значений факторов за пределы шкал путем введения нормировки данных [10].

Целью настоящей работы была верификация фитоиндикационной оценки экологического пространства различных типов сосновых лесов при различных способах расчета уровней экологических факторов по экологическим шкалам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные по агрохимическому составу почв и геоботанические описания типов леса взяты из монографии Н. Ф. Ловчего [11]. При расчетах агрохимические показате-

тели почв были усреднены для горизонтов A1 и B1. Расчет уровней экологических факторов в различных типах сосновых лесов проведен методами взвешенного на обилие видов среднего [5], линейной регрессии без [6-8] и с нормировкой данных [10]. Предварительное преобразование фитоиндикационной матрицы данных для NMDS-шкалирования не проводили. Для расчета матрицы сходства/различия применяли метрику euclidean. Для группировки типов сосновых лесов по эдафическим условиям применяли кластеризацию методом ближайшего расстояния (shortest distance). Для расчетов и визуализации полученных результатов использовали программные возможности Excel и Matlab.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о коррелированности агрохи-

мических характеристик и фитоиндикационных показателей в почвах сосняков представлены в таблице 1.

Из представленных в таблице 1 результатов видно, что содержание физической глины положительно коррелирует с кислотностью почвы и отрицательно – с емкостью поглощения, в то время как алеврита (пыли) положительно коррелирует с гумусом и степенью насыщенности основаниями, отрицательно – с емкостью поглощения. Кислотность почв положительно связана со степенью насыщенности основаниями и отрицательно – с емкостью поглощения. Емкость поглощения почвы отрицательно коррелирует со степенью насыщенности основаниями. Как и следовало ожидать, ни один из агрохимических показателей не коррелирует с глубиной залегания горизонтов почвы.

Таблица 1. – Коррелированность агрохимических характеристик и фитоиндикационных показателей в почвах сосняков

	GL	FG	PL	GUM	PH	EPO	SNO
GL	1,00	-0,04	-0,20	-0,13	0,05	0,16	-0,11
FG	-0,04	1,00	0,20	0,15	0,48	-0,38	0,28
PL	-0,20	0,20	1,00	0,49	0,37	-0,47	0,56
GUM	-0,13	0,15	0,49	1,00	-0,07	-0,07	0,06
PH	0,05	0,48	0,37	-0,07	1,00	-0,85	0,70
EPO	0,16	-0,38	-0,47	-0,07	-0,85	1,00	-0,73
SNO	-0,11	0,28	0,56	0,06	0,70	-0,73	1,00

Примечание: GL – средняя глубина залегания горизонта почвы; FG – физическая глина; PL – пыль (алеврит); GUM – гумус; PH – кислотность; EPO – емкость поглощения; SNO – степень насыщенности основаниями. Здесь и далее полужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, достоверные на 0,05 и более высоких уровнях.

Из представленных в таблице 2 данных видно, что содержание физической глины в почве положительно коррелирует с трофностью (TR), богатством почвы азотом (NT) и кислотностью (RC). В зависимости от способа расчета фитоиндикационного показателя коэффициенты корреляции варьируют в пределах: TR – 0,57–0,62 (умеренная корреляция), NT – 0,81–0,82 (сильная корреляция), RC – 0,42–0,54 (слабая корреляция).

Содержание в почве алеврита (пыли) положительно коррелирует с трофностью (TR). В зависимости от способа расчета фитоиндикационного показателя коэффициент корреляции изменяется в пределах 0,41–0,60. Ни один из показателей эдафических условий не коррелирует с содержанием гумуса в почве, что согласуется с

данными, полученными при верификации экологических шкал Д. Н. Цыганова [4,9].

Однако данный факт согласуется с мнением и подтверждается данными Е. С. Мигуновой [12], свидетельствующими о том, что трофность почв в большей степени определяется обеспеченностью их калием и фосфором, максимальное валовое содержание которых в пределах корнеобитаемого слоя, в свою очередь, связано с утяжелением гранулометрического состава почв за счет увеличения содержания тонкой фракции (глины).

Кислотность почвы отрицательно коррелирует с увлажнением почв (HD) и положительно – с трофностью (TR), уровнем азота (NT) и кислотностью (RC). В зависимости от способа расчета фитоиндикационного показателя коэффициенты корреля-

Таблица 2. – Коррелированность агрохимических показателей почв различных типов сосновых лесов с фитоиндикационными показателями

Способ расчета фитоиндикационного показателя	Фитоиндикационный показатель	Агрохимический показатель почвы					
		FG	PL	GUM	PH	EPO	SNO
1 – линейная регрессия	HD	-0,19	-0,27	0,12	-0,68	0,71	-0,59
	TR	0,57	0,59	0,22	0,57	-0,55	0,58
	NT	0,82	0,32	-0,01	0,45	-0,25	0,34
	RC	0,54	0,36	-0,13	0,57	-0,54	0,55
2 – взвешенное среднее	HD	-0,10	-0,31	0,06	-0,70	0,77	-0,64
	TR	0,57	0,41	0,00	0,62	-0,58	0,54
	NT	0,82	0,33	0,03	0,53	-0,41	0,43
	RC	0,42	0,29	-0,12	0,65	-0,60	0,58
3 – нормализованная линейная регрессия	HD	-0,24	-0,25	0,17	-0,64	0,65	-0,55
	TR	0,62	0,60	0,15	0,63	-0,62	0,63
	NT	0,81	0,30	-0,04	0,54	-0,34	0,39
	RC	0,56	0,37	-0,12	0,55	-0,51	0,53

Примечание: GL – средняя глубина залегания горизонта почвы; FG – физическая глина; PL – пыль (алеврит); GUM – гумус; PH – кислотность; EPO – емкость поглощения; SNO – степень насыщенности основаниями; HD – увлажнение; TR – трофность; NT – богатство почв азотом; RC – кислотность.

ции варьируют в пределах: HD – 0,64–0,70 (умеренная корреляция), TR – 0,57–0,63 (умеренная корреляция), NT – 0,45–0,54 (слабая корреляция), RC – 0,55–0,65 (умеренная корреляция).

Емкость поглощения почвы умеренно положительно коррелирует с увлажнением почв (HD) и отрицательно – с трофностью (TR), уровнем азота (NT) и кислотностью (RC). В зависимости от способа расчета фитоиндикационного показателя коэффициенты корреляции варьируют в пределах: HD – 0,65–0,71, TR – 0,55–0,62, RC – 0,51–0,60. Связь с богатством почв азотом была установлена только при расчетах по взвешенному среднему (NT – -0,41).

Степень насыщенности почвы основаниями умеренно отрицательно коррелирует с увлажнением почв (HD) и положительно – с трофностью (TR) и кислотностью (RC). В зависимости от способа расчета фитоиндикационного показателя коэффициенты корреляции варьируют в пределах: HD – 0,55–0,64, TR – 0,54–0,63, RC – 0,53–0,58. Связь с богатством почв азотом была установлена только при расчетах по взвешенному среднему (NT – 0,43).

Таким образом, независимо от способа расчета в целом наблюдается однонаправленный характер связей фитоиндика-

ционных показателей с агрохимическими характеристиками почвы, а рассчитанные коэффициенты линейной корреляции варьируют в сравнительно узких пределах. Однако однозначно отметить преимущество одного из способов расчета фитоиндикационных показателей над другим на основании полученных данных не представляется возможным.

Для сжатия многомерного пространства фитоиндикационных показателей экологического пространства сосновых лесов было применено неметрическое многомерное шкалирование (NMDS, nonmetric multidimensional scaling). Главным преимуществом NMDS является то, что он не требует от исходных данных никаких априорных предположений о характере статистического распределения. Считается, что данный метод дает наиболее адекватные результаты, особенно для сильно «зашумленных» больших матриц данных [13–14].

Полученные данные по ординации с помощью NMDS-шкалирования различных типов сосновых лесов при различных способах расчета фитоиндикационных показателей представлены на рисунках 1–3. Как видно из представленных на рисунках 1–3 результатов NMDS-шкалирования и последующего кластерного анализа, спо-

соб расчета имеет достаточно сильное влияние на общую картину распределения сосновых типов леса в экологическом пространстве. Наряду с общими тенденциями

размещения типов леса имеются также и различия, особенно для близких по экологическим условиям типов леса экстремальных местообитаний.

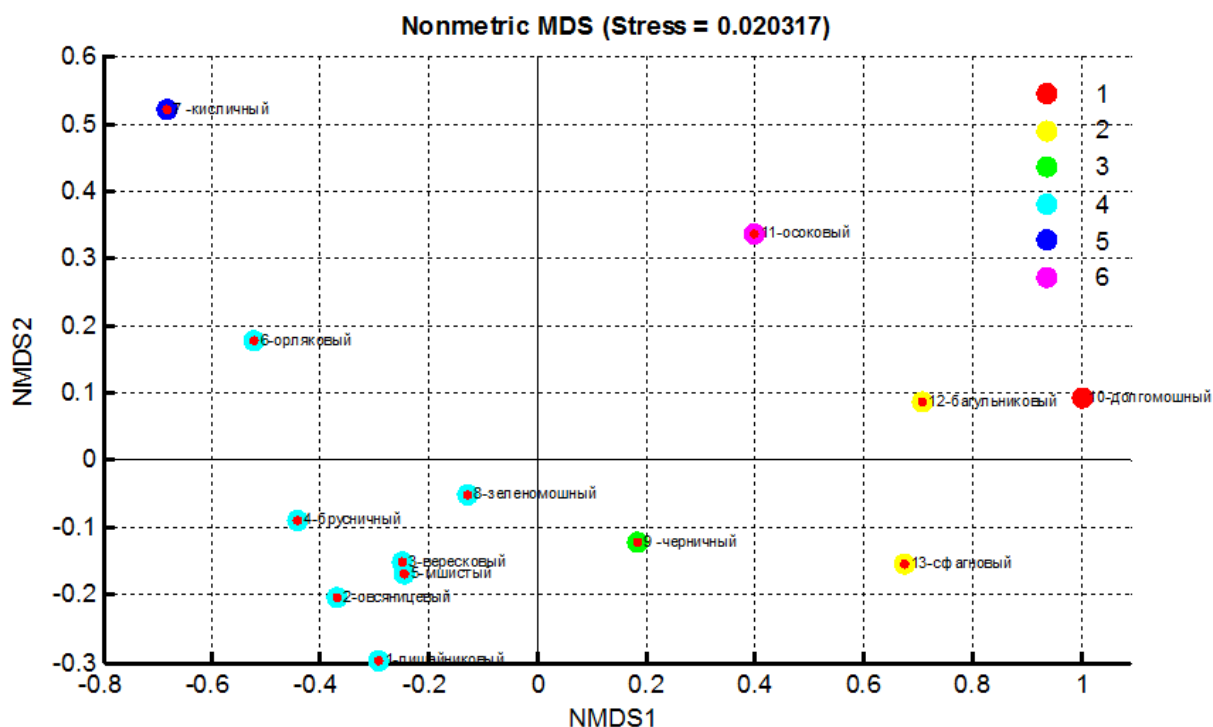


Рисунок 1. – Способ расчета: линейная регрессия

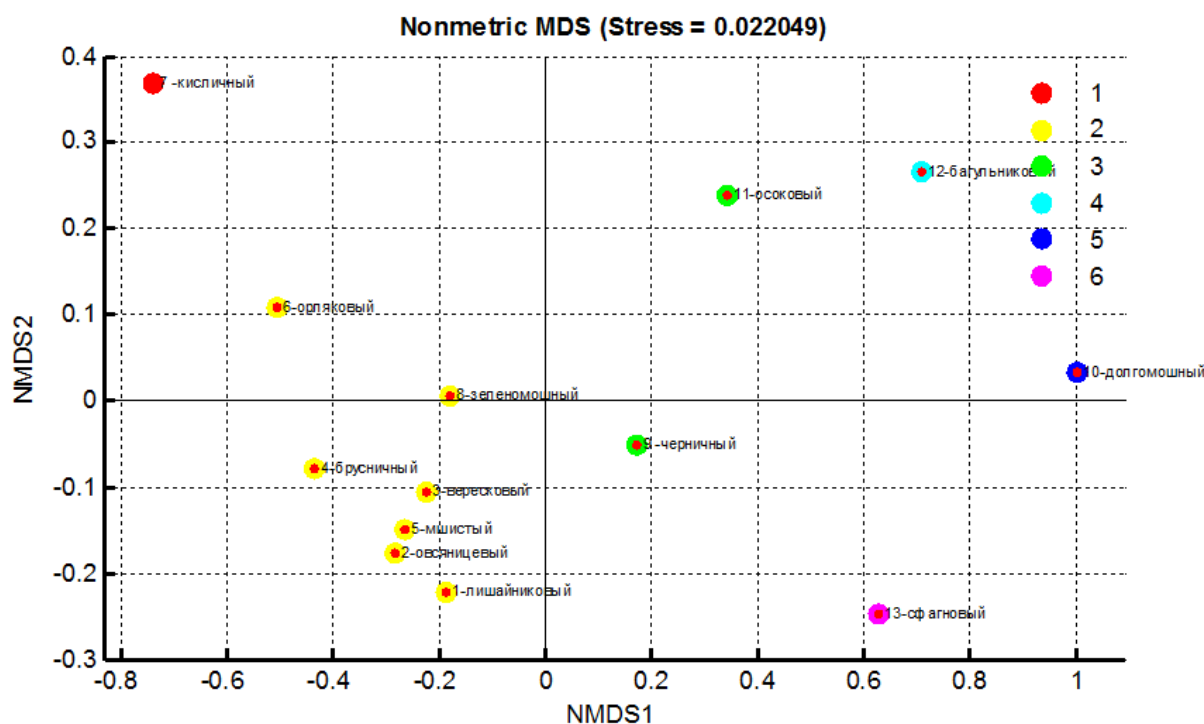


Рисунок 2. – Способ расчета: нормализованная линейная регрессия

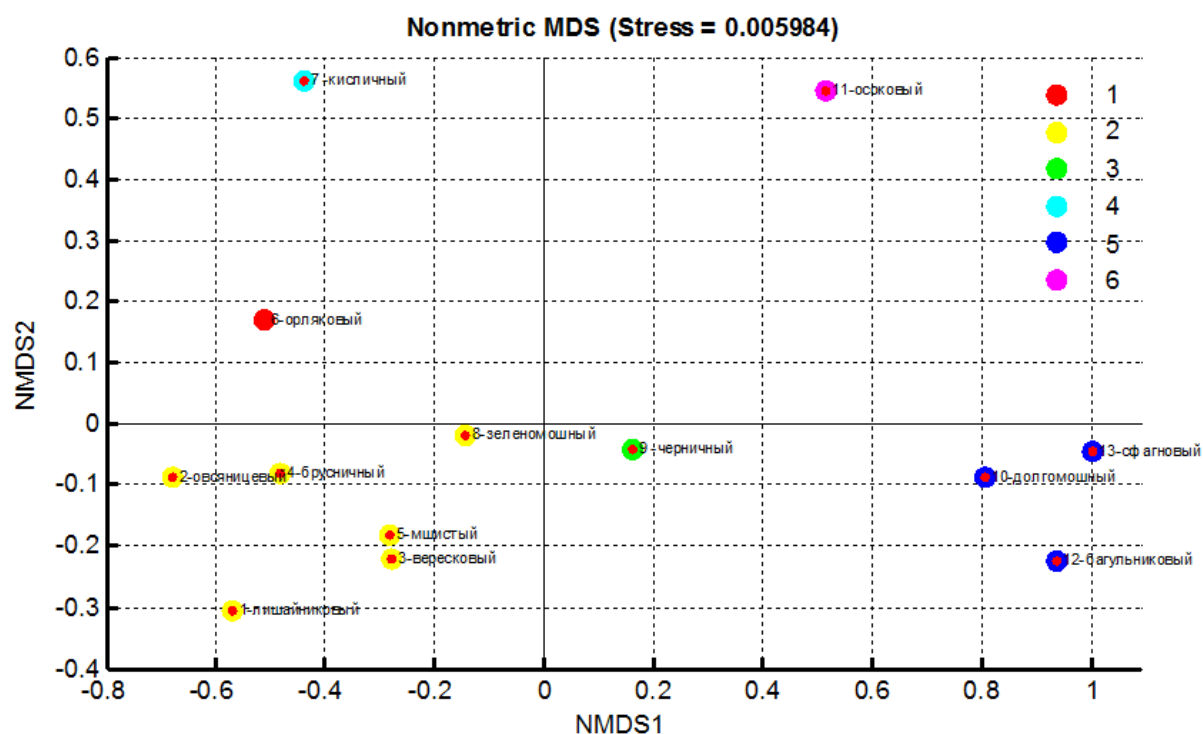


Рисунок 3. – Способ расчета: взвешенное по обилию среднее

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты фитоиндикационной оценки экологических условий сосняков независимо от способа расчета (метод взвешенного среднего, линейная регрессия без и с нормализацией данных) хорошо коррелируют с агрохимическими параметрами почвы. В меньшей степени это относится к результатам многомерной ординации типов леса, где имеют место различия. Содержательная интерпретация результатов NMDS-шкалирования возможна лишь при их сопоставлении с экологическими свойствами видов, составляющих сообщества. В зависимости от способа расчета условий среды по экологическим шкалам наблюдается своеобразный «дрейф» координат точек типов леса в пределах определенных областей экологического пространства (осей NMDS), в особенности экстремальных местообитаний.

SUMMARY

G. N. Buzuk
PHYTOINDICATION USING
ECOLOGICAL SCALES AND
REGRESSION ANALYSIS: COMPARISON
OF CALCULATING METHODS
Verification of three calculation methods

(linear regression with and without data normalization as well as the weighted average) of phyto-indicative indices of the medium conditions on D.N. Tsyganov scales was implemented.

It was found that regardless of the calculation method unidirectional nature of the linkages of phyto-indicative indices with agrochemical characteristics of the soil is observed, and the calculated coefficients of linear correlation vary in relatively narrow limits. At the same time the calculation method has a fairly strong effect on the overall picture of pine forest types distribution in the environmental space on NMDS-scaling and subsequent cluster analysis. There is a kind of a "drift" in point coordinates of forest types within specific areas of the environmental space.

Keywords: ecological scales, linear regression, environmental space, NMDS-scaling.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверев, А. А. Сравнительный анализ растительности с использованием фитоиндикационных шкал / А. А. Зверев // Сборник статей и лекций IV Всероссийской школы-конференции «Актуальные проблемы геоботаники» (1–7 октября 2012

- г.). – Уфа: Издательский центр «Медиа-Принт», 2012. – С. 25–46.
2. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках европейской России. – М.: Научный мир, 2000. – 196 с.
3. Заугольнова, Л. Б. Информационно-аналитическая система для оценки текущего состояния лесных сообществ / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Препринт: Пушкино – ПНИЦ РАН, – 1995. – 51 с.
4. Заугольнова, Л. Б. Верификация балловых оценок местообитания по некоторым параметрам среды / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Лесоведение. – 1998. – № 5. – С. 48–58.
5. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов // М.: Наука. – 1983. – 196 с.
6. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестник фармации. – 2007. – № 3. – С. 44–50.
7. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа: экологический индекс / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2017. – № 1. – С. 31–37.
8. Бузук, Г. Н. Лимитирующие факторы для фитоценозов: технология оценки (на примере сосновых лесов Центральной Беларуси) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов, Р. В. Цвирко // Социально-экологические технологии (Вестник МГГУ им. М.А. Шолохова). – 2017. – № 1. – С. 27–40.
9. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений: монография / Л. А. Жукова [и др.]; под общ. ред. проф. Л. А. Жуковой; Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2010. – 368 с.
10. Применение β -функции в фитоиндикации для учета асимметрии кривых отклика видов растений / А. В. Жуков [и др.] // Acta Biologica Sibirica. – 2018. – Vol. 4. – № 2. – Р. 32–46.
11. Ловчий, Н. Ф. Кадастр типов основных лесов Белорусского Полесья / Н. Ф. Ловчий ; науч. ред. В. И. Парфенов ; Науч-практ. центр НАН Беларуси по биоресурсам, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Ф. Купrevича. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 221 с.
12. Мигунова Е. С. Почвообразующие породы и плодородие почв / Е. С. Мигунова // Лісівництво і агролімомеліорація – Харків: УкрНДІЛГА. – Вып. 128. – С. 122–133.
13. Фитоиндикационное оценивание катены сообществ почвенной мезофауны и их экоморфическая организация / А. В. Жуков [и др.] // Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького. – 2016. – Т. 6. – № 3. – С. 91–117.
14. Zhukov, A. Spatial heterogeneity of mechanical impedance of atypical chernozem: the ecological approach / A. Zhukov, G. Gadorozhnaya // Ekológia (Bratislava). – 2016. – Vol. 35. – N 3. – P. 263–278.

Адрес для корреспонденции:

210023, Республика Беларусь,
г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,
УО «Витебский государственный ордена
Дружбы народов медицинский университет»,
кафедра фармакогнозии с курсом ФПК и ПК,
тел.раб.: 8 (0212) 64-81-78,
Бузук Г.Н.

Поступила 28.11.2018 г.